



PRECISION METHOD AND DEVICE FOR MEASURING PHASE TIME DISTRIBUTION ULTRASONIC SIGNALS IN THE CONTROL OBJECTS

ПРЕЦИЗИОННЫЙ СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОВОГО ВРЕМЕНИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ В ОБЪЕКТЕ КОНТРОЛЯ

Доцент, к.т.н. Баженов В.Г., Богдан Г.А.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,

E-mail: vgbazhenov@gmail.com, bogdangalya@gmail.com

Abstract: This article discusses the digital orthogonal system of precise measurement of the phase delay of the ultrasonic signal radiopulse. Its main feature is the use of a single ADC to build a digital phase meter, the use of digital signal multipliers, as well as the use phase meter with a digital frequency synthesizer (as a input source) synchronized ADC sampling signals. Use of a measuring channel is actually a single ADC can not only reduce the cost of phase shift measurement system of signals, but also to improve the measurement accuracy in the measurements of

KEY WORDS: OF PRECISE MEASUREMENT OF THE PHASE DELAY OF THE ULTRASONIC SIGNAL DIGITAL SYSTEM, PHASE METER, ORTHOGONAL METHOD, ADC

1. Введение

Современное развитие порошковой металлургической промышленности напрямую связано с разработкой и изготовлением уникальных порошковых конструкционных материалов с наперед заданными физико-механическими характеристиками (ФМХ) [1,2,3], в частности материалов обладающих повышенными прочностными характеристиками. Важной задачей при их изготовлении является разработка систем контроля, которые позволяли бы производить оценку изменения ФМХ в объеме изделия на любой стадии изготовления с высокой точностью, а также оценить эффективность выбранных технологических режимов [4,5] без разрушения контролируемых объектов. На сегодня, использование ультразвуковых методов контроля, является наиболее эффективным для решения поставленных задач.

В качестве информативного параметра, при измерении ФМХ в таких системах, используют скорость распространения ультразвука в порошковых конструкционных материалах (ПКМ).

Необходимо учитывать, что определение скорости распространения ультразвуковой волны C в объекте контроля (ОК) производится косвенным путём, при котором искомое значение величины находят на основе измерения других величин, связанных с измеряемой величиной известной зависимостью:

$$(1) \quad C = \frac{h}{\tau},$$

где h – база измерения (толщина изделия в точке измерения); τ – фазовое время прохождения акустического импульса вдоль базы измерения. Как видно из формулы (1) точность определения скорости зависит от точности измерения геометрических размеров объекта контроля и фазового времени прохождения УЗ волны. Таким образом, чтобы получить высокую точность измерения скорости прохождения ультразвуковой волны в изделии, например с погрешностью в 1%, необходимо обеспечить погрешность измерения фазового времени менее 1% [6,7,8]. Таким образом, актуальной задачей является разработка прецизионных методов для измерения фазового времени распространения УЗ сигналов в ОК.

2. Предпосылки и средства решения задачи

Фазовое время распространения УЗ сигнала определяется по формуле:

$$(2) \quad \tau = \frac{\varphi}{\omega}$$

где φ – фазовый сдвиг УЗ сигнала после прохождения ОК; ω – частота сигнала [4,5].

Поэтому для определения фазовой скорости распространения УЗ волны необходимо использовать, фазовые методы измерения фазового сдвига сигнала. Следует также отметить, что при создании таких систем неразрушающего контроля [7,8], основанных на определении скорости распространения ультразвука в объекте контроля погрешность измерения фазовых сдвигов должна быть в пределах 10^{-3} - 10^{-4} , что требует использования прецизионных фазометров

Известно, что наиболее точными измерителями фазового сдвига сигналов являются оптимальные методы измерений с использованием ортогональных опорных сигналов [9,10,11]. Современное состояние цифровой электроники позволяет реализовать прецизионный ортогональный измеритель фазового сдвига в цифровом виде совместно с источником входного сигнала.

Ортогональный метод измерения ФС решает задачу создания помехоустойчивых ФИ, работающих в широком диапазоне соотношения сигнал-шум и обеспечивает минимальную погрешность при воздействии флуктуационных помех [9,12,13,14]. В работах [15,16,17] были рассмотрены пути решения поставленной задачи.

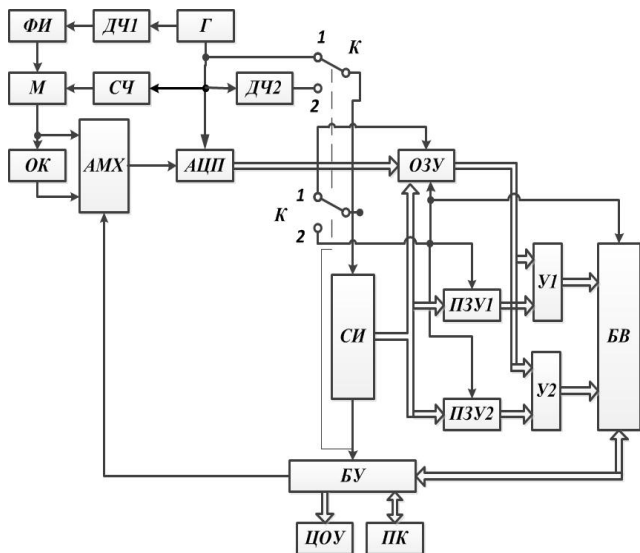
3. Решение поставленной задачи.

В данной работе предлагается прецизионный способ и устройство цифровой ортогональной системы измерения фазового времени прохождения радиоимпульсных сигналов в ОК фиг. 1, которая включает в себя как цифровой ортогональный фазометр использующий один измерительный канал на базе одного АЦП так и цифровой формирователь радиоимпульсного сигнала на базе DDS синтезатора частоты синхронизируемый также как и блок обработки цифровых

сигналов БВ от генератора частоты дискретизации АЦП [15,16].

Структурная схема содержит:

Г – генератор сигналов частоты дискретизации; ФИ – формирователь длительности радиоимпульсов; М – модулятор; ДЧ1, ДЧ2 – делители частоты; СЧ – синтезатор частоты; ОК – объект контроля; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; СИ – счетчик импульсов; ПЗУ1, ПЗУ2 – постоянные запоминающие устройства; У1, У2 – умножители цифровых сигналов; БВ – блок вычисления; ЦОУ – цифровое отсчетное устройство; К – коммутатор; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство; АМХ – аналоговый мультиплексор; ПК – персональный компьютер; БУ – блок управления.



Фиг.1 Структурная схема цифровой ортогональной системы измерения фазового времени прохождения ультразвуковых радиоимпульсных сигналов

Измерения выполняются за два цикла:

1. Цикл калибровки (вычисление начальной фазы излучаемого сигнала φ_0).
2. Цикл измерения (вычисление фазы измеряемого сигнала φ_1)

Принцип работы предлагаемой системы измерения фазового времени прохождения ультразвукового сигнала заключается в следующем. С генератора сигналов частоты дискретизации Γ_0 на блок формирования радиоимпульсных сигналов, который состоит из делителя частоты ДЧ1, формирователя длительности радиоимпульса Ф1, модулятора – М, синтезатора частоты – СЧ. Делитель частоты ДЧ1 формирует частоту посылок радиоимпульсов. Формирователь Ф1 формирует длительность радиоимпульсов. На выходе синтезатора частоты СЧ (DDS типа) формируется непрерывный синусоидальный сигнал, который подается на модулятор М. Сформированный радиоимпульс с выхода модулятора М поступает на входной пьезопреобразователь объекта контроля ОК и на мультиплексор АМХ. На первом этапе первого цикла измерения сформированный радиоимпульс вида $u_1(t) = U_1 \cos(2\pi f t + \varphi_0)$ через аналоговый переключатель АМХ, управляемый блоком управления БУ подаются на вход АЦП, который преобразует по сигналам генератора частоты дискретизации Γ этот сигнал в дискретную цифровую форму. Полученные отсчеты с выхода АЦП поступают на информационные входы накопительного ОЗУ и по сигналам частоты дискретизации поступающими на входы записи ОЗУ записываются в соответствующие его ячейки, адрес которых формируется счётчиком СИ импульсов с частотой дискретизации АЦП. После заполнения накопительного ОЗУ по сигналу переполнения счётчика

(адреса) СИ система переходит ко второму этапу обработки накопленных данных для этого переключатель К устанавливается в положение 2 по команде с блока управления БУ. При этом выполняют синхронное считывание данных с ОЗУ и с ПЗУ1 и ПЗУ2, путём подачи сигналов с выхода переключателя К на соответствующие входы считывания ОЗУ, ПЗУ1, ПЗУ2 на вход счётчика СИ (адреса ОЗУ и ПЗУ) и на вход синхронизации блока цифровой обработки сигналов ЦОС. При этом частота считывания данных и соответственно частота обработки цифровых сигналов, которая получается с выхода делителя частоты ДЧ2, будет уменьшена относительно частоты дискретизации на коэффициент деления делителя K_d , что существенно уменьшит требования по быстродействию к цифровым умножителям У1, У2, а также к блоку цифровой обработки сигналов ЦОС и при высоких частотах заполнения радиоимпульсных сигналов сделает возможным аппаратную реализацию такой системы измерения. Таким образом коды с ОЗУ и соответствующие им коды (Sin, Cos) с ПЗУ1, ПЗУ2 синхронно подаются на соответствующие входы цифровых умножителей У1, У2. Блок формирования опорного сигнала, который состоит из счётчика адреса СИ и ПЗУ1 и ПЗУ2 формирует опорные ортогональные сигналы когда переключатель К находится в положении 2. Результаты перемножения выборок сигнала с АЦП (накопленных в ОЗУ) на коды выборок опорного (Sin, Cos) с ПЗУ1, ПЗУ2 с выходов умножителей У1, У2 поступают на блок цифровой обработки БВ сигналов, где выполняют фильтрацию полученных сигналов и получают проекции (Sin, Cos) a_s и a_c формированием квадратурных составляющих сигнала [3,4,5, 6]:

$$(3) \quad a_s = \sum_{j=1}^{M_{ад}} u_i[j] u_s[j], \quad a_c = \sum_{j=1}^{M_{ад}} u_i[j] u_c[j]$$

где $u_i[j]$ – выборка входного сигнала; $u_s[j]$, $u_c[j]$ – синусная и косинусная составляющие опорного сигнала, предварительно записанные в ПЗУ 10 и 11; $M_{ад}$ – количество элементов выборки сформированного входного сигнала и вычисляют абсолютное значение фазы входного сигнала как

На втором цикле первого этапа на вход АЦП с помощью мультиплексора АМХ, управляемого блоком управления БУ подается измерительный сигнал $u_2(t) = U_2 \cos(2\pi f t + \varphi_1)$ с выходного пьезопреобразователя, установленного на выходе исследуемого объекта контроля. Далее, аналогично, как и на первом этапе, полученные коды дискретных значений измерительного сигнала с частотой дискретизации накапливаются в ОЗУ на первом цикле, а затем на втором цикле производят соответствующее медленное считывание и обработку в результате аналогично получают абсолютное значение фазы измерительного сигнала φ_1 . Искомый фазовый сдвиг рассчитывается из выражения:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_0$$

Блок цифровой обработки сигналов БВ затем выполняет и другие необходимые вычисления и накопления полученных результатов, которые могут визуализироваться с помощью ЦОУ или транспортироваться на ПК.

4. Выводы

Высокая точность определения фазового времени задержки ультразвуковых сигналов была достигнута за счёт следующих факторов:

1. За счёт цифровой реализации ортогонального метода оптимального измерителя фазовых сдвигов.
2. За счёт использования одного измерительного канала при реализации фазометра, которые, как известно, используют два канала измерения, это позволило не только повысить точность измерения, но и существенно упростить реализацию предлагаемой системы измерения [17].
3. Использование совместно с цифровым фазометром цифрового блока формирования радиоимпульсных

входных сигналов на базе DDS синтезатора частоты, синхронизированного также как и блок цифровой обработки сигналов БВ высокостабильным генератором G_0 частоты дискретизации АЦП позволило существенно уменьшить погрешности за счет не кратности частот дискретизации с частотой заполнения радиоимпульсного сигнала, с частотой следования радиоимпульсов, с длительностью радиоимпульсов, а также за счёт начальной фазы частоты генератора частоты дискретизации [18]. Кроме того вышесказанное позволило использовать один измерительный канал, как упоминалось выше.

Следует также отметить что важным достоинством предложенной системы является также то, что цифровая обработка результатов измерений на втором этапе может выполняться с частотой намного меньшей частоты дискретизации, что позволит существенно удешевить её реализацию.

5. Список литературы

1. Гращенко Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – №5. – С. 231–242.
2. Бабак В.П., Дегтярьов В.В, Куц Ю.В, Щербак Л.М. Автоматизована система вимірювань фазових характеристик періодичних сигналів на базі технології Labview // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Херсон, 2004. – № 1. – С. 61-68.
3. Campbell FC. Structural Composite Materials. Ohio: ASM International; 2010.
4. S. Banerjee & BK Shah, 'Characterization of Industrial Materials', Material Characterization Techniques – Principals and Applications, Ed. G. Sridhar, S. Ghosh Chowdhary and N.G. Goswami, 1999, pp 1- 15.
5. Муравьев В.В., Зуев Л.Б., Комаров К.Л. Скорость звука и структура сталей и сплавов / Новосибирск : Наука, 1996. – 184 с.
6. Безьямный Ю.Г., Богдан Г.А., Колесников А.Н. и др. Использование ультразвука при отработке технологии получения порошкового материала // КОНСОНАНС-2011. Акустический симпозиум – 2011– С. 28-33
7. Полетика И.М. Егорова Н.А., Куликова О.В. и др. Об ультразвуковом контроле неоднородности механических свойств горячекатаной стали // Журнал технической физики. – 2001. – Т.71, Вып. 3. – С. 37-40.
8. Галаган Р.М., Богдан Г.А. Анализ погрешностей измерения скорости распространения ультразвуковой волны в многофазных порошковых материалах. Часть 1: Влияние субъективной погрешности // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – Київ. – 2015. – № 49(1). – С. 53-60.
9. Чмых М.К. Цифровая фазометрия. – М.: Радио и связь, 1993.- 184 с.
10. Уолт Кестер. Проектирование систем цифровой и смешаной обработки сигналов. Москва: Техносфера, 2010.- 328с. ISBN978-5-94836-243-4
11. Айфичер, Эммануил С., Джервис, Барри У. А36 Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание. : Пер. с англ.- М.: Издательский дом «Вильямс», 2008.-992 с.:ил.-Парал. тит. англ. . ISBN978-5-8459-0710-3 (рус)
12. Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования,- СПб.: Политехника, 1998.-592с.: ил. . ISBN 5-7325-0486-9
13. Steven W. Smith, The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. Second Edition, 1999, California Technical Publishing, P.O. Box502407, San Diego, CA92150. Also available at: <http://www.dspguide.com> or <http://www.analog.com>
14. Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы (основы статистической теории) «Советское радио», 1968, стр. 468.а
15. Цифровий спосіб вимірювання фазового часу проходження радіоімпульсних сигналів. Патент України на винахід №105074 від 10.04.2014 МПК G04F10/00 (2014.01) бюл.№9/2014.Номер заявки а201206917 від 06.06.2012. Баженов В.Г., Богдан Г.А., Грузін С.В.
16. Спосіб для вимірювання фазового часу проходження радіоімпульсних сигналів патент України на винахід №103094 с2 МПК (2013.01) G04F10/00 від10.09.2013, Бюл.№17 Баженов В.Г.,Богдан Г.А.
17. Баженов В.Г., Богдан Г.А., Кравченко М.В Цифровая система измерения фазовых сдвигов радиоимпульсных сигналов // Международный научно-исследовательский журнал – Екатеринбург – 2016 – №4-2(46). – С. 36-38
18. Цифровая обработка сигналов: Справочник/ Л.М.Гольденберг, Б.Д.Матюшкин , М.Н.Поляк.- М.: Радио и связь, 1985.-312с.,ил.
19. Марпл.-мл.С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ.-М.: Мир, 1990.-584с.,ил.